



SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HUMUS

NOMBRE: OSCAR DAVID ARISTIZABAL MANCILLA CÓDIGO: 701817
NOMBRE: LORENA CATALINA GARCÍA REINA CÓDIGO: 702000

DOCENTE DIRECTOR
MSc. BEATRIZ NATHALIA SERRATO PANQUEBA

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

BOGOTÁ, D.C., 30 DE NOVIEMBRE DE 2018

SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HUMUS

MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GESTIÓN DE TECNOLOGÍA PARA LA
SUSTENTABILIDAD DE LAS COMUNIDADES**

EJE TEMÁTICO: AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de grado a nuestras personas más queridas, aquellas que impulsan nuestra vida para salir adelante y hacer de ella cada día algo maravilloso; Nuestras familias, aquellos seres que están siempre dispuestos a ayudarnos y brindan cada esfuerzo de su vida para nuestro crecimiento personal.

A todos aquellos, que día a día entregan lo mejor de sí para nuestros éxitos, gracias por ser nuestra fortaleza.

AGRADECIMIENTOS

En reconocimiento y agradecimiento a Dios en primera instancia que ha dado fortaleza a nuestras vidas para afrontar los retos que se nos imponen, permitiéndonos ser mejores personas y profesionales calificados para apoyar la sociedad que nos espera, siendo nosotros la fuerza joven y los retadores de las tendencias tecnológicas, que permitirán mejorar nuestro futuro como seres humanos llamados a ser grandes.

Agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión en cada una de las etapas de nuestro estudio, sin la fortaleza que ellos nos transmiten estos logros no serían alcanzados, a la universidad, a su planta de docentes y a la Ingeniera Natalia Serrato quien desde un principio apoyo este trabajo de grado y dirigió su proceso a fin de obtener grandes resultados aplicables a nuestra industria ganadera; agradecemos su dedicación y toda la guía impartida para inculcar en nosotros el interés y optimismo del deber cumplido.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	12
RESUMEN.....	14
INTRODUCCIÓN	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2 JUSTIFICACIÓN.....	18
3 OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4 METODOLOGÍA.....	20
4.1 IDENTIFICACIÓN.....	20
4.2 DISEÑO	20
4.3 IMPLEMENTACIÓN.....	21
4.4 INTERFAZ	21
5 ANTECEDENTES.....	22
6 MARCO CONCEPTUAL.....	26
7 MARCO TEÓRICO	32
7.1 SENSADO	32
7.1.1. Sensor Humedad.....	33
7.1.2. Sensor de temperatura.....	34
7.2 ACTUADORES.....	34
7.2.1. Moto bomba.....	35
7.2.2. Motorreductor.....	36
7.3 PROCESADORES	37
7.3.1. Raspberry pi 3.....	37

7.3.2. Comunicación SPI.	38
8 IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE HUMUS.....	39
8.1 SENSOR DE TEMPERATURA.....	39
8.1.1. Linealización de sensor de temperatura.	42
8.2 SENSOR DE HUMEDAD.....	43
8.2.1. Linealización sensor de humedad.	46
8.3 ACTUADORES.....	48
8.3.1. Motobomba.....	48
8.3.2. Motorreductor.	48
9 DISEÑO DE ALTERNATIVA DE CONTROL	49
10 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	53
11 INTERFAZ GRÁFICA DE SUPERVISIÓN	57
12 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
13 CONCLUSIONES	64
14 TRABAJOS FUTUROS.....	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diseño.....	25
Figura 2: Tipos de lombriz	28
Figura 3: humus	30
Figura 4: Sensores a utilizar	32
Figura 5: Motobomba.....	36
Figura 6: Motorreductor	36
Figura 7: Puertos GPIO	37
Figura 8: Sensor de Temperatura	42
Figura 9: Grafica de linealización sensor de temperatura	43
Figura 10: Sensor de humedad.....	46
Figura 11: Grafica de linealización sensor de Humedad.....	47
Figura 12 Diagrama de flujo proceso de automatización.	49
Figura 13: Esquema de conexiones físicas	50
Figura 14 : Elaboración PCB A) Diseño circuito impreso; B) Caminos del circuito impreso; C) ensamblaje de conectores para componentes electrónicos.	51
Figura 15: Diagrama de control diseñado	52
Figura 16: Prototipo elaborado.....	53
Figura 17: Ajuste de mangueras para el sistema de riego	54
Figura 18: Sistema mecánico para el movimiento de las aspas	55
Figura 19: Adecuación Motobomba	55
Figura 20: Interfaz Web	57
Figura 21: Sistema Inicial para riego.....	60
Figura 22: Sistema Funcional	61
Figura 23: Sistema inicial mecánico.....	62
Figura 24: Sistema mecánico funcional	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Rúbrica de evaluación para Sensor de temperatura	40
Tabla 2: Tipos de sensores de temperatura	41
Tabla 3: Rúbrica de evaluación para sensor de humedad	44
Tabla 4: Tipos de sensores de humedad	45
Tabla 5: Datos de parametrización hoja técnica	46
Tabla 6: Datos Linealización sensor de humedad	47

Lista de anexos

Anexo A: Código sensores	70
Anexo B: Código página web principal	73
Anexo C: Condigo control de odómetros	75
Anexo D: planos del diseño en Inventor de Autodesk.....	77

GLOSARIO

ABIÓTICO: Son todos los recursos existentes en el ecosistema que aportan nutrientes de utilidad para los espacios que sean requeridos o se desee emplear.

AGRICULTURA: Son principios de agronomía como los cultivos que pueden ser modificados según la necesidad de la especie.

APELMAZAMIENTO: Es generado por falta de nutrientes u oxigenación del suelo generando masas que impiden la utilidad de la tierra.

FECUNDIDAD: Realización efectiva fertilidad para la reproducción biológica en cualquier especie.

FERTILIZANTE: Es una sustancia compuesta por componentes orgánicos e inorgánicos que contiene nutrientes que favorecen el crecimiento vegetativo de las plantas y aporta componentes importantes al suelo.

HUMUS: El humus es un tipo de abono, se encuentra compuesto por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, este es el resultado de la descomposición de los restos orgánicos de los organismos y microorganismos descomponedores.

ION HIDROGENO: Es un elemento químico que contiene un compuesto de hidrogeno y sus isotopos los cuales son proporcionan calidad al ecosistema.

LIXIVIADO: Es el líquido resultante de un proceso de fertilización, este líquido cuenta con gran cantidad de nutrientes y puede ser reutilizado en la agricultura para otros tipos de suelos, arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa

pH: Es la concentración de hidrogenión (H^+), este cuenta con un rango de 0 a 14 en el cual se define que a menor concentración presenta mayor acidez y a mayor concentración es básico. Un pH con una concentración de 7 es neutro.

SENSOR: Elemento electrónico capaz de detectar variables físicas, las cuales pueden ser controladas por corriente, voltaje, resistencia o capacitancia de acuerdo a la necesidad del sistema.

RESUMEN

La recolección de humus mejora el cultivo de las plantas, ya que permite la protección de la cosecha y potencia la fertilización, motivo por el cual, el diseño realizado pretende apoyar las labores del agricultor, liberando tiempo en el proceso de recolección de humus de lombrices californianas, sin afectar el ecosistema de las mismas, garantizando la correcta manipulación de las variables que inciden como lo son: la cama, la humedad y la temperatura.

A diferencia de otros métodos enfocados en la recolección de humus, éste permite que el proceso sea automático en el control del ecosistema, manejando mediante sistema de riego y sensores, vigilancia de las condiciones climáticas y asegurando que estas sean aptas para el efectivo desarrollo de las lombrices californianas, lo que facilita al agricultor el desarrollo de otras labores y garantiza el correcto progreso y supervivencia de las lombrices mediante un ambiente controlado.

Para este sistema automático se tuvieron en cuenta algunas variables específicas que afectarían el entorno donde la lombriz ejecutaría su labor de producción de humus como la temperatura, la humedad, el movimiento del abono y la hidratación constante del área.

El Trabajo de grado, cuenta con un diseño ergonómico, que permite adaptarse a las condiciones propias del entorno en el cual se desarrollará el proceso de recolección de humus. Internamente su diseño es enfocado en la necesidad de brindar excelentes condiciones a las lombrices, permitiendo recolectar el lixiviado, y desplazar las lombrices al interior de la cama, sectorizando el lugar para el proceso de alimentación y recolección de humus.

PALABRAS CLAVE: Humus, Sistema de riego, Lombriz californiana, Humedad, Temperatura, Agricultura de precisión, Control On-Off.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de grado, realizado brindó una solución de automatización al proceso del cultivo de abono teniendo en cuenta la calidad con la que se elabora, con el fin de obtener una mejora y aprovechamiento de los nutrientes que ofrecen las lombrices *Eisenia Foetida* o lombriz roja californiana.

El proceso para la producción de humus requiere de un cuidado especial ya que Estos animales son muy sensibles a las concentraciones de ion Hidrogeno, lo cual determina la concentración de las lombrices en las áreas donde se encuentra el abono.¹ Para evitar eso es necesario oxigenar las áreas realizando un movimiento del abono, para que las lombrices se puedan desplazar por los diferentes sectores sin sufrir daños que afectan la producción del abono.

Para garantizar la supervivencia de las lombrices se debe mantener una temperatura y humedad favorable del territorio donde se encuentra el ecosistema, comúnmente se garantiza vigilando las áreas de producción de forma manual, en donde se revisa el estado de acuerdo a una valoración empírica.

Por tal razón el siguiente trabajo de grado realizó lo necesario para supervisar las variables influyentes en la producción del humus, garantizó el bienestar de las lombrices californianas, para esto se necesitó de un ambiente húmedo, ya que las lombrices californianas poseen una dificultad en la retención de agua²; de igual forma su actividad se ve afectada por la temperatura del medio ambiente donde conviven, según estudios se recomendó tener una temperatura de 24°C o menor³.

¹ **Editorial Universitaria.** La Lombriz de Tierra. [aut. libro] Editorial Universitaria. *Lombricultura: desarrollo sostenible*. La Habana : 9789591604590, 2007, pág. 11.

² **Ibíd**, pág. 9.

³ **Ibíd**, pág. 10.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El humus es abono que se extrae a partir del proceso que realiza la lombriz, por ejemplo, la roja californiana es la más utilizada, este abono es implementado en los cultivos para mejorar las condiciones del suelo y la tierra.

Es necesario un sitio que se adecue para las lombrices el cual debe tener unas condiciones abióticas buenas como la temperatura y humedad, esto con el fin que la obtención del humus sea de excelentes condiciones⁴.

Hoy por hoy, la obtención del humus se realiza mediante la adecuación de un espacio donde se agrega materia orgánica y lombrices; el material orgánico es descompuesto por las lombrices ya que es su método de alimentación. Las lombrices no pueden estar expuestas a la luz solar ya que son sensibles por sus órganos foto receptores por lo que se tiene una cubierta que se retira de forma manual.

En la actualidad las camas de producción poseen unos lentes que incrementan la temperatura al interior del sistema de producción de humus. Los agricultores aplican agua sin ninguna regulación con el fin de disminuir esa variable y mantener una humedad del 70%.

La temperatura de la cama debe oscilar entre los 12°C y 25°C ya que esto facilita la ingesta del material por parte de las lombrices, su desplazamiento, permanencia e incluso su supervivencia debido a que las lombrices pueden morir por falta de temperaturas frescas⁴.

La cubierta que se tiene sirve para la protección de las lombrices contra distintos depredadores, al igual que evita la evaporación del agua, mantiene la temperatura y humedad.

⁴ Caracol TV. *La finca de hoy*. caracol TV. 16 de 03 de 2017. <https://bit.ly/2BbpgvH> (último acceso: 10 de 03 de 2018).

Con el fin de evitar el apelmazamiento, oxigenar el sistema estimula el apareamiento y el consumo de lo orgánico se realiza un movimiento de la tierra de forma periódica y semanalmente. Este procedimiento no se debe realizar con objetos corto punzantes que puedan afectar a las lombrices, preferiblemente se realiza con uñas plásticas.

El abono sólido caracterizado por su tono negruzco debido a la concentración de carbono tarda un mes como mínimo para estar listo, la manera en la que este es retirado es suministrando alimento a la lombriz a un costado de la cama para que estas se desplacen y el otro extremo quede libre para ser retirado.

De esta cama se obtiene el lixiviado es el residuo del agua suministrada durante el riego, este líquido es reutilizado ya que por sus bondades como el nitrógeno, potasio y calcio ayudan a la buena obtención del humus, en esta ocasión es obtenido por un medio de un sifón que se encuentra en un extremo de la cama y es llevado a los tanques que suministran el riego⁴.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la pregunta de investigación ¿Qué alternativa de automatización se puede proponer para mejorar el proceso de producción de humus en el sector agropecuario colombiano?

2 JUSTIFICACIÓN

El sistema automático para la producción de humus consiste en desarrollar una cama que facilite las labores del agricultor disminuyendo la obra manual y garantizando producción con calidad, sin afectar el ecosistema de la lombriz.

Actualmente ya se cuenta con camas de producción de humus en los campos colombianos, sin embargo, aún no se tiene un sistema automático para la producción de este, la elaboración del trabajo de grado trae los siguientes beneficios:

- Facilita al agricultor la producción de humus.
- Identifica la temperatura que tiene la cama de lombrices.
- Identifica la humedad que tiene la cama de lombrices
- Suministra un sistema de riego.
- Colabora con el movimiento oportuno de la tierra para evitar apelmazamientos.
- Obtiene Lixiviado.
- No interfiere las condiciones de vida del ecosistema.

Teniendo como resultado un sistema que aporta al agricultor facilidad en sus labores diarias. Asimismo, garantiza la correcta ejecución del proceso e identifica las variables existentes en el ecosistema garantizando la supervivencia de la lombriz roja californiana.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un sistema automático para la producción de humus

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la instrumentación requerida para el proceso de automatización de la producción de humus.
- Diseñar una alternativa de control que permita regular las variables presentes en el proceso.
- Implementar un sistema de control en el prototipo de producción de humus.
- Realizar una interfaz gráfica para la supervisión del proceso en tiempo real que permita la identificación de alertas en las variables presentes.

4 METODOLOGÍA



4.1 IDENTIFICACIÓN

Dentro de la etapa de identificación, se buscó la información detallada para estructurar el sistema de control de acuerdo a lo proyectado, esta fase estuvo compuesta por las siguientes subfases:

- Conocer las variables a supervisar.
- Indagar sobre el método a utilizar para la medición de las variables.
- Reconocer los componentes necesarios para la supervisión de las variables (Sensores, actuadores, motores entre otros).

4.2 DISEÑO

Se realizó la estructuración de los planos con los cuales se la elaboró el prototipo, dentro un área de 0.5 metros cuadrados se simularon los subsistemas que componen el sistema de control para un manejo óptimo siguiendo los siguientes pasos.

- Realizar los planos de conexiones entre los componentes requeridos.
- Elaboración de programación para los componentes electrónicos.
- Simular los circuitos con la programación elaborada.
- Ajustar los parámetros requeridos del sistema.

4.3 IMPLEMENTACIÓN

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones y programación del sistema planteado, se procedió a elaborar el prototipo para evidenciar la supervisión deseada del proceso de la producción del humus. Esto se realizó de acuerdo a las siguientes actividades:

- Elaboración de camas, simulando la producción de humus.
- Ensamblar los componentes electrónicos para la elaboración del prototipo.
- Realizar las pruebas con el prototipo sobre las camas de producción de humus.

4.4 INTERFAZ

En esta etapa se desarrolló una interfaz gráfica capaz de capturar la información emitida por los sensores generando una integración con el prototipo, se realizó la configuración de esta herramienta para poder leer de forma fácil los valores de las variables en tiempo real, y poder facilitar las configuraciones al sistema de control On – Off, de acuerdo a las necesidades del cliente.

Particularmente se realizarán las siguientes actividades:

- Identificar la herramienta que permitirá la integración correcta con el prototipo.
- Configurar la herramienta para la comunicación entre el prototipo y la interfaz.
- Mostrar los datos obtenido por el prototipo por medio de la interfaz.

5 ANTECEDENTES

La agricultura abarca grandes técnicas y conocimientos relacionados con los cultivos de la tierra⁵, a lo largo de la historia se han empleado diferentes técnicas para mejorar la producción de las siembras como lo es el uso de los abonos.

La lombricultura es una actividad enfocada en la crianza de lombrices con el objetivo de obtener abono orgánico denominado humus⁶. Este proceso de producción de humus, ha sido implementado por los campesinos de forma empírica teniendo en cuenta las necesidades de las lombrices para obtener el humus.

Este proceso requiere un área donde se puedan mantener las lombrices para alimentarlas, generalmente el área debe contener una capa de tierra ya que es el hábitat de estos animales. Debe tener una concentración de humedad específica, una temperatura adecuada, con el fin de prolongar la vida de las lombrices.

Los campesinos emplean métodos manuales para el control de estas condiciones de ambiente necesarias para el cuidado de humus. Ya que no se tiene el recurso económico para implementar tecnologías que favorezcan estas tareas.

Estos métodos implican el riego de agua, la depuración de maleza y el movimiento del abono durante el proceso para evitar la acumulación de nitrógeno que afecte el pH del producto. Por lo que se debe considerar una buena calidad de abono. Esta se obtiene con cuidados detallados a la hora de cultivar las lombrices, como lo es la humedad, la saturación de nitrógeno, la constitución física del abono, entre

⁵ **Real Academia Española.** RAE. 2018. [En línea] // RAE. - 2018. - <https://bit.ly/2zVINAN> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).

⁶ **SOMBARILLA REYES, Ricardo José, y Fidel GUZMAN GUILLÉN.** Guía de lombricultura. [Libro]. - Vol. IV. Managua: Universidad Nacional Agraria, 2004, pág. 5.

otras⁷.

El cuidado de estos factores abioticos no solo influyen en su correcta produccion de humus, ademas promueben la fecundidad, el periodo de incubacion y el metabolismo⁸, lo cual mejora la calidad de vida de las lombrices.

Según varios estudios acerca de la composicion física de las lombrices, se ha encontrado que se constituyen de un 70 a 75% de agua de su peso vivo. De esta forma las lombrices buscan una estabilidad en el territorio que habitan entre la humedad y la variedad del terreno, por lo que los cambios bruscos de temperatura en el abono pueden afectar la composicion de la lombriz⁹.

Por esta razón es necesario que se suministre constante agua a la producción de humus, en algunos casos donde se han establecido cultivos de forma casera se tiene en cuenta el riego cada dos días, por lo que el área donde se mantienen las lombrices es reducido¹⁰.

En la actualidad se trabaja de forma constante en la produccion del humus, ya que la demanda de este producto organico esta aumentando constantemente¹¹, por esta razon se han evidenciado crecimientos de las empresas agricolas, en la implementación de nuevos terrenos, infraestructura para el tratamiento del humus, y lograr una rentabilidad estable con este tipo de negocio, al igual que invierten en el recurso humano, ya que se deben tener ciertas labores de mantenimiento y cultivo de la lombriz de forma permanente.

Sin embargo la intervencion no es de forma constante, solo en algunos casos

⁷ **MULET DEL POZO, Yanely, Maximino DIAZ ALVAREZ, y Eneida VILCHES LEON.** «Determinacion de algunas propiedades fisico-mecanicas, quimicas y biologicas del humus de lombriz en condiciones de la vaqueria de la finca Guayabal, San Jose de las Lajas, La Habana, Cuba.» *Ciencias Tecnicas Agropecuarias (Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias)* XVII, nº 1 (2008): pág. 28.

⁸ **Editorial Universitaria.** «La Lombriz de tierra.» *En Lombricultura: desarrollo sostenible*, 16. La Habana: Editorial Universitaria, 2007, pág. 10.

⁹ **Ibíd.** Pág. 9.

¹⁰ **MULET DEL POZO, Yanely, Maximino DIAZ ALVAREZ, y Eneida VILCHES LEON.** Op. Cit.,pág. 29.

¹¹ **CANTU, Luisa.** «Entre taza y taza/ Cultivo ecologico de cafe.» (Editora el Sol) 1, nº 1 (2001)

como riego o el movimiento del abono¹². Por esta razón se tiene en cuenta la implementación de la tecnología para el control del estado del proceso de este producto orgánico y el cuidado de las lombrices.

Un grupo de estudiantes de Colima, México, realizaron un estudio para la implementación de un sistema compacto de control con el cual se podría mantener la producción casera de abono regulada, teniendo en cuenta la humedad y la temperatura del contenedor que utilizan para la elaboración de este producto¹³. Este prototipo sirve para pequeñas cantidades de humus, por lo cual no requiere que él mismo se éste moviendo para oxigenar el espacio donde se almacenan las lombrices.

Esta propuesta se enfocó en el diseño y creación de un dispositivo automático para la producción de humus de forma casera, controlando las variables de temperatura y humedad necesarias para el sistema (vease figura 1).¹⁴

¹² **BARRERA RESTREPO, Alexis Fernando.** «Lombricultura, experiencia, emprendimiento y proyección. En: *Memorias del programa científico Universidad 2010.*» (Editorial Universitaria) 2010.

¹³ **EDITORIAL MI PATENTE.** «Mi patente.» 24 de Julio de 2017. <https://bit.ly/2PzPwFo> (último acceso: 18 de Marzo de 2018).

¹⁴ **GARCIA ADAME, Raúl Ignacio.** *Diseño y construcción de un equipo automatico para la obtencion de humus de lombriz. Trabajo de grado. Ingeniero Mecatronico. Facultad de Ingeniería.* Colima: Instituto tecnologico de colima, 2015.

Figura 1: Diseño



Fuente: **GARCIA ADAME, Raúl Ignacio.** *Diseño y construcción de un equipo automatico para la obtencion de humus de lombriz. Trabajo de grado. Ingeniero Mecatronico. Facultad de Ingeniería.* Colima: Instituto tecnologico de colima, 2015.

Este prototipo que se evidencia en la figura 1, es de uso casero por lo cual no favorece a los campesinos que se dedican a la produccion de humus, ya que las cantidades de elaboración son mayores por habitantes del campo o las empresas dedicadas a esta labor. Por esta razón no se tienen evidencias de alguna implementación tecnológica para este sector.

6 MARCO CONCEPTUAL

El estudio de las lombrices, se denomina de otra forma como *lombricultura* ya que abarca distintas áreas en las que se encuentran, como lo es el proceso de cultivo de abono mediante la transformación de residuos orgánicos por parte de la alimentación de las lombrices¹⁵.

Este proceso conlleva una dedicación en la supervisión de los requerimientos necesarios para una obtención de humus constituido de buena calidad que mejorará los procesos agrícolas.

Sin embargo en los avances que han implementado los seres humanos, han comprendido que la implementación de las lombrices mejora este proceso de forma que se tarda menos tiempo, esto se puede aprovechar ya que la utilización del humus se realiza cada vez con mayor demanda para los diferentes cultivos¹⁶.

De igual forma no basta con utilizar cierta cantidad de lombrices en las producciones de humus, se debe pensar en la integridad de estos animales, con lo que se debe contemplar la cantidad adecuada dentro de una misma área de convivencia, los factores limitantes (humedad, temperatura, pH), hasta incluso la calidad de los residuos orgánicos. Por eso está demostrado que se recomienda utilizar unas 8000 lombrices por metro cuadrado para evitar el apiñamiento¹⁷.

Los principales factores limitantes para la aseguración de una óptima calidad de humus, son la temperatura, la humedad y la acidez o pH, donde se debe supervisar que la temperatura se encuentre en un rango de 14° a 27° C; el nivel de humedad debe oscilar entre un 70 y 80% y el pH del sustrato debe oscilar entre 6,0 y 8,0.

¹⁵ **CARACOL TV.** *La finca de hoy*. caracol TV. 16 de 03 de 2017. <https://bit.ly/2BbpgvH> (último acceso: 10 de 03 de 2018).

¹⁶ **SCHULDT, Miguel.** «Lombricultura: inserción en diversas prácticas.» En *Lombricultura: teoría y práctica*, de Miguel SCHULDT, 310. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.

¹⁷ —. Capacidad de Porte (Numero de lombrices por superficie/volumen) en distintos.

Si estas condiciones no se cumplen se puede llegar a afectar el tiempo de vida de las lombrices, el apareamiento de las mismas e incluso la calidad del abono producido.

Para la supervisión de estos factores limitantes se pueden realizar de forma constante utilizando elementos como un termómetro largo (25 cm o más), un pH metro o papeles especiales para la medición del pH; y la medición de forma manual de la viscosidad del producto¹⁸.

La lombricultura consiste en la gestación de lombrices de tierra en espacios sanitariamente adecuados para poder llevar a cabo el proceso de descomposición de materia orgánica, este proceso ha disminuido de manera satisfactoria el impacto ambiental que causa la producción de residuos biodegradables¹⁹.

Existen diferentes tipos de lombriz, para esta ocasión la utilizada es la lombriz de tierra la cual es clasificada por especies, para la lombricultura en especial son utilizadas las siguientes:

- Epigeas: esta especie habita en la superficie de la tierra y en lugares donde se encuentra materia orgánica en abundancia, esta lombriz es vulnerable a los depredadores, inundaciones, frío y en algunas ocasiones escases de comida, debido a esto su acción reactiva ocasiona evolución y adaptación en el medio generando alta reproducción de la especie, mayor apetencia y firmeza en los capullos para garantizar la supervivencia de los huevos²⁰
- Anécicas: este tipo de lombriz se mueve haciendo camino desde la superficie al interior de la tierra en forma de "U". Este movimiento en el ecosistema

¹⁸ —. Factores Limitantes para el desarrollo de cultivos E. Fétida. Lombricultivo, práctica y teoría. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.

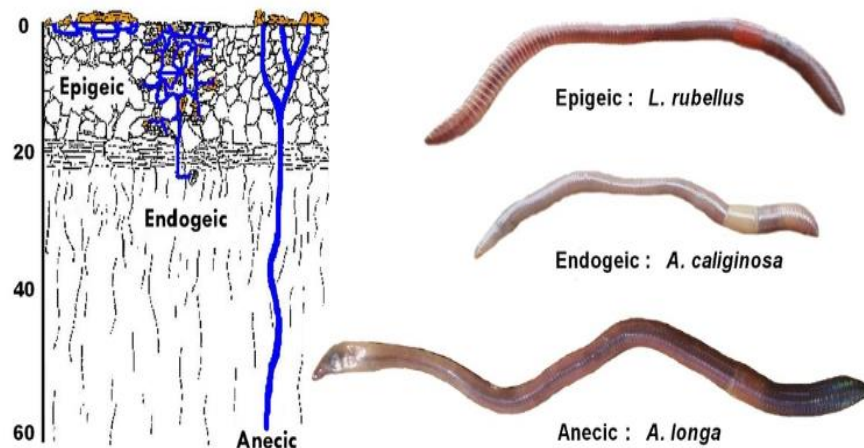
¹⁹ **GARCIA CONDE, Mary Ruth.** Manual cría de la lombriz de tierra: una alternativa ecológica y rentable. [Libro]. - Bogotá: Editorial San Pablo, 2005.

²⁰ **COCOON HUMUS.** *cocoon fertilidad en tu tierra*. S.F. <https://bit.ly/2O9purN> (último acceso: 25 de Octubre de 2018).

permite la oxigenación del mismo así mismo el movimiento de la materia orgánica, este movimiento garantiza la neutralización del pH, este es la lombriz conocida como lombriz de tierra, en las noches esta asciende a la superficie en búsqueda de restos vegetales los cuales lleva al interior del ecosistema y es consumido junto a las partículas de la tierra, estas lombrices requieren una capa de pasto seco en la superficie para garantizar su supervivencia²⁰.

- Endógeas: Se encuentran en las distintas capas de la profundidad del ecosistema, se alimentan de productos eliminados por la naturaleza como lo son las raíces y la materia orgánica arrastrada por las lluvias u otros insectos, estas comen poca o mediana M.O, generan canales verticales, su nivel de reproducción es bajo. En éste tipo de lombrices se subdividen en poli húmicas: las que viven en la capa más superficial del suelo, las meso húmicas: que viven en la parte media del suelo y las oligo húmicas: que viven en la capa más profunda del suelo (ver figura 2) .²⁰

Figura 2: Tipos de lombriz



Fuente: **Science Learning Hub** Earthworm niche groupings [En línea]. - 12 de Junio de 2012. - 28 de Octubre de 2018. - <https://bit.ly/2z6BYer>.

En la figura 2 se observan los diferentes tipos de lombrices, en donde las lombrices epigeas y poli húmicas son las que mejor efectúan el proceso de degradación de materia orgánica ya que son las que permanecen en la superficie de la tierra, estas lombrices aprovechan los nutrientes del alimento y descomponen el doble de su peso adicional en sus excretas devuelven aproximadamente el 70% convirtiéndose en humus²⁰.

En la lombricultura la lombriz de mayor utilización es la roja californiana pertenece al tipo epigea, esta especie es la seleccionada ya que cuenta con las condiciones necesarias para la producción de humus como lo es la alta voracidad, resistente a condiciones ambientales ya que cuenta con el beneficio de adaptabilidad al ambiente y tiene un alto nivel de reproducción.

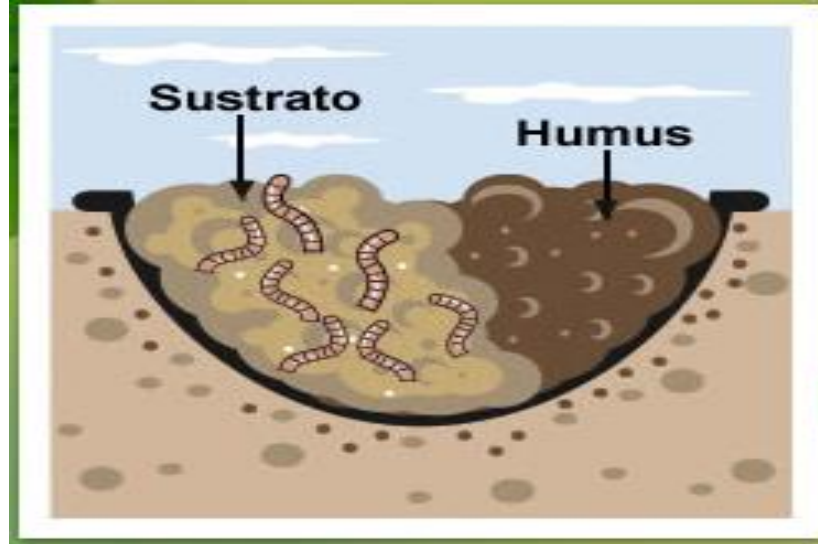
El humus está compuesto por material orgánico coloidal el cual se origina de reacciones bioquímicas del suelo, esto conforma sustancias llamadas ácidos húmicos (solubles) y huminas (Insolubles).

La síntesis del humus se encuentra controlada por procesos químicos, físicos y biológicos. Las ligninas, los compuestos fenólicos, los compuestos nitrogenados y las sales minerales funcionan como materias primas que se incorporan a un proceso de síntesis de moléculas cada vez más complejas y con nuevas propiedades físico-químicas²¹.

Para estos procesos es necesario combinar la materia prima con el ecosistema natural de las lombrices como se muestra en la figura 3.

²¹ AGUDELO, Jaime Eduardo, Geusep ORTEGA, y Melissa RUIZ. [En línea] // Biología del Suelo. 22 de Agosto de 2014. <https://bit.ly/2QTNOnb> (último acceso: 28 de Octubre de 2018).

Figura 3: humus



Fuente: ALIMENTACION BIOECOLOGIA ACTIVA RED [En línea] // ECOLOGIA ACTIVA RED. - 2010 de ENERO de 2010. - 18 de OCTUBRE de 2018. - <http://goo.gl/MOvWLQ>

En la figura 3 se diferencia el humus del ecosistema donde habitan las lombrices. El proceso de composición del humus dependerá de la mezcla de materia orgánica presente en el entorno teniendo en cuenta el ion nitrógeno, las condiciones del medio como lo son la temperatura, humedad y pH.

El humus se puede catalogar según su morfología y composición:

- Humus Mor: su proceso de fabricación es el más lento debido a la poca mineralización de la materia orgánica presente en el suelo por las condiciones climáticas en las que la actividad biológica es débil, lo que ocasiona la presencia de una capa de residuos sobre la superficie del suelo como los restos vegetales reconocibles en el ecosistema²².
- Humus Moder: es de mejor calidad que humus mor, su proceso de fabricación está muy influenciado por las condiciones climáticas de vegetación y de

²² ALIMENTACIÓN BIOECOLOGIA ACTIVA RED [En línea] // ECOLOGÍA ACTIVA RED. - 2010 de ENERO de 2010. - 18 de OCTUBRE de 2018. - <http://goo.gl/MOvWLQ>

material original cuenta con características especiales por una transformación menos rápida de la hojarasca y esto es ocasionada por el ecosistema existente en la cama ya que los restos permanecen individualizados en el suelo.

- Humus Mull: es el de mejor calidad se produce en los suelos de actividad biológica intensa su materia orgánica se encuentra humificada totalmente en la superficie del suelo, este es formado generalmente bajo la hoja de árboles de hoja caduca con desechos ricos en nutrientes seguido la descomposición de este humus es la mejor a comparación del Mor y el Moder.
- Humus de lombriz: es un fertilizante de primer orden el cual mejora las características físico químicas del suelo, aumenta la retención hídrica, regula el incremento del nitrato del suelo el cual retiene o expulsa los nutrientes que requieren las plantas como lo son el nitrógeno, azufre, fósforo, potasio y boro.
- Humus de lombriz Solido: es el resultado de la digestión de las lombrices compuesta por sustancias orgánicas, es una composición rica en características físico-químicas la cual sobresale por su pureza, este humus brinda una solución al uso de fertilizantes ya que es el más completo e integral, contiene ventajas como lo es la no contaminación del medio ambiente brinda calidad para la conducción de semilleros de especies vegetales²³.

²³ **Y, Xavier Tenecela.** «Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y.» Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y. Universidad de Cuenca. 2012. <https://bit.ly/2RjNmuG> (último acceso: 20 de Octubre de 2018).

7 MARCO TEÓRICO

7.1 SENSADO

Para la implementación de este trabajo de grado fue necesario un sistema de sensado, el cual permitió controlar y medir las variables existentes en el ecosistema para garantizar la producción de humus.

Para el trabajo de grado se implementó un monitoreo que permitiera controlar la humedad, temperatura que se presentan en la cama haciendo uso de sensores electrónicos (véase figura 4).

Figura 4: Sensores a utilizar



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4, se muestra un sensor de temperatura PT100, un sensor capacitivo para la lectura de humedad y un termo higrómetro.

7.1.1. Sensor Humedad. Existen diferentes tipos de sensores con los cuales es posible determinar la humedad de algún ambiente, estos pueden clasificarse de acuerdo a su metodología de implementación como la deformación de un material, de bulbos húmedos y secos o mediante el contacto. Los sensores de deformación aprovechan la absorción de la humedad de distintos materiales, la cual genera una distorsión de la forma natural del material y poder determinar la humedad del ambiente.

Los sensores que contienen bulbos húmedos o secos determinan la cantidad de moléculas de vapor que se encuentran en una cavidad de muestra, para determinar la densidad del mismo y poder calcular la humedad del ambiente. Comúnmente se conoce estos dispositivos como higrómetros. Finalmente, los sensores de contacto, tienen unas láminas de forma paralelas para cumplir la función de electrodos, en donde deben tener contacto con el ambiente, a medida que el ambiente contiene moléculas de vapor o agua este genera una conductividad eléctrica entre los dos electrodos con el cual se determina el nivel de humedad. Generalmente estos dispositivos son implementados para la medición de la humedad en superficies.

Todos los sensores de humedad pueden detectar los cambios en las propiedades físicas, químicas o incluso biológicas de los materiales según el método de absorción de las moléculas de agua, para esto, se puede llegar a medir tres tipos de humedad; absoluta, relativa o específica²⁴.

²⁴ **CORONA RAMIREZ, Leonel German, Griselda ABARCA JIMENEZ, y Jesus MARES CARREÑO.** «6.9 Sensor de Humedad.» En *Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*, de Leonel German CORONA RAMIREZ, Griselda ABARCA JIMENEZ y Jesus MARES CARREÑO. Mexico D.F: Grupo Editorial Patria, 2014.

Sin embargo, para la implementación en la medición de la humedad de la tierra, se debe tener en cuenta la humedad relativa, igual forma que los transductores deben ser capaces de introducirse en el interior de la tierra.

7.1.2. Sensor de temperatura. Los sensores de temperatura son dispositivos capaces de convertir la energía térmica en eléctrica; para esta interpretación de energía existen distintos tipos de sensores como el termopar o termocupla, los sensores de temperatura resistivos o los pirómetros.

Los termopares o termocuplas son el método más común de convertir la energía térmica en eléctrica, ya que se compone de dos conductores unidos a un extremo en donde la exposición de cambios de temperatura a la unión de los dos hilos conductores genera una corriente eléctrica, este fenómeno fue descubierto por Thomas Seebeck²⁵. Los sensores de temperatura resistivos (RTD, como es su acrónimo en inglés Resistance temperature detector) operan de acuerdo a los cambios de resistencia generados en el material que se compone el sensor, donde preferiblemente debe ser un material conductor. Este tipo de dispositivos tiene una estabilidad y linealidad en la medición realizada.

Los pirómetros o sensores de temperatura a distancia son empleados cuando se dificulta la medición de esta variable mediante el contacto, puesto que puede generar oxidación de los materiales, para este caso se implementan sensores con la capacidad de detectar la irradiación de energía por los cuerpos a medir.

7.2 ACTUADORES

Los actuadores son aquellos dispositivos que logran convertir una energía en otra interactuando con el entorno, como resultado se refleja un cambio de estado en el

²⁵ -----, 6.5 Sensor de Temperatura. Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino. México D.F: Grupo Editorial Patria, 2014.

sistema aplicado. Los actuadores se clasifican según su funcionamiento como lo son los eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

Los actuadores eléctricos, son aquellos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica, “Su principio de funcionamiento se fundamenta en el efecto que produce una espira conductora que se encuentra dentro de la acción de un campo magnético y por la que circula una corriente eléctrica”²⁶, de esta forma se puede entender que un actuador eléctrico es un motor eléctrico, ya depende del tipo de electricidad que se utilice, o la función necesaria para el tipo de motor a utilizar.

Los servomotores, son un tipo de actuadores eléctricos comúnmente utilizados en los sistemas de integración ya que pueden ser controlados mediante una señal digital o pulso, desde donde se varia la duración del pulso se puede lograr el movimiento del motor, de igual manera se puede indicar el sentido del giro. Internamente contiene un motor-reductor y un multiplicador de fuerza y adicionalmente cuenta con un circuito de control con el que se reciben los pulsos y se convierten en la acción del servomotor²⁷.

7.2.1. Moto bomba. Es un actuador que funciona con AC, generando la activación de un motor para convertir esta energía eléctrica en mecánica, con la cual se produce el movimiento de las aspas encargadas de succionar el fluido por el orificio central y expulsarlo por el perpendicular (véase figura 5).

²⁶ ----. 6.9 Sensor de Humedad. Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino. México D.F.: Grupo Editorial Patria, 2014.

²⁷ ----. Servomotores. Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino. México D.F.: Grupo Editorial la Patria, 2014.

Figura 5: Motobomba



Fuente: Autores

La motobomba que se observa en la figura 5 es de 0.5 caballos de fuerza con la cual succiona el líquido por la manguera que se conecta al costado derecho de la imagen y es expulsado por el ducto que tiene en la parte superior de la misma.

7.2.2. Motorreductor. Sirve para generar un movimiento mecánico por medio de inducción eléctrica, este se encuentra conformado por un motor DC, una caja reductora donde se tiene un sistema de piñonearía dispuesta para suministrar la fuerza necesaria al sistema. Esto disminuye la velocidad del motor (véase figura 6).

Figura 6: Motorreductor



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 6, el motor es la parte cilíndrica que se encuentra en el costado izquierdo de la imagen y la caja reductora es la que se encuentra al costado derecho de la imagen; en donde el eje de movimiento sale desde la caja reductora.

7.3 PROCESADORES

Los procesadores son componentes electrónicos para el procesamiento de las señales obtenidas por los sensores, así mismo generan señales eléctricas con las se controlan los actuadores. Este hardware requiere una programación para su funcionamiento.

7.3.1. Raspberry pi 3. Es un ordenador que soporta varios componentes posee un System on Chip que contiene un procesador ARM que corre a 700 MHz, un procesador gráfico VideoCore IV y hasta 512 MG de memoria RAM. Es posible instalar sistema operativo libre a través de una tarjeta SD²⁸

7.3.1.1. General Ports Input and Output (GPIO). Los puertos GPIO representan una interfaz entre la Raspberry Pi 3 y el mundo exterior compuesto por 40 pines los cuales permiten contar con un sistema de entradas y salidas (véase figura 7).

Figura 7: Puertos GPIO

BOARD	GPIO		GPIO	BOARD
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I ² C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I ² C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I ² C ID EEPROM)		(I ² C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Fuente: Página oficial Raspberry Pi 3

²⁸**RASPBERRY PI.** *Raspberrypi.* s.f. [En línea]. <https://bit.ly/1MGdg5H> (último acceso: 17 de 09 de 2018).

Como se observa en la figura 7, de los 40 pines se reconoce que se cuenta con dos de 5V, dos de 3V, ocho de ground, dos de configuración avanzada y veintiséis son GPIO²⁸.

7.3.2. Comunicación SPI. Es un protocolo de comunicación que se implementa entre varios dispositivos, donde se tiene uno de ellos como maestro y los demás son esclavos. Las conexiones entre maestro – esclavo se realizan mediante 4 hilos; donde uno es el reloj (CLK), el cual sincroniza los dispositivos electrónicos para establecer la frecuencia de transmisión de los datos digitales, el segundo se utiliza para la identificación del dispositivo esclavo con el que se establece la comunicación.

Las dos conexiones restantes se denominan MISO y MOSI, donde se clasifica el maestro (M) o el esclavo (S) generando una entrada (I) o salida (O) de información; en otras palabras, se puede entender como el canal por el cual el dispositivo maestro envía los datos hacia el dispositivo esclavo o viceversa.

8 IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE HUMUS

Para la implementación del prototipo, fue necesario seleccionar los sensores adecuados teniendo en cuenta las características requeridas para el proceso a desarrollar, de acuerdo a la investigación se identificó la necesidad de elaboración del prototipo considerando sensores de temperatura y humedad con los cuales se supervisará el estado actual del sistema para su evolución autónoma.

Se efectuó una evaluación técnica de los distintos sensores que existen en el mercado, realizando una comparación entre ellos y eligiendo el que mejor se adecuara a las necesidades del trabajo de grado.

Los sensores suministraron la información obtenida al sistema electrónico, el cual estuvo compuesto por un ordenador que interpretó y realizó el debido proceso de control; por esta razón los sensores enviaron una señal eléctrica hacia el ordenador.

8.1 SENSOR DE TEMPERATURA

Para la selección de este sensor, se deben evaluar los siguientes criterios:

- Costo (USD)
- Resolución en (°C)
- Precisión (°C)
- Encapsulado

Con el objetivo de comparar las características planteadas en la tabla 1 para determinar el sensor que mejor se adecuo a la elaboración del trabajo de grado. Para ello se establecieron rangos de acuerdo al criterio con el objetivo de obtener un puntaje sobre las características.

Tabla 1: Rubrica de evaluación para Sensor de temperatura

TEMPERATURA							
COSTO 20%		RESOLUCIÓN 30%		PRECISIÓN 30%		ENCAPSULADO 20%	
VALOR (USD)	PUNTAJE	RANGO (°C)	PUNTAJE	RANGO (°C)	PUNTAJE	MATERIAL	PUNTAJE
0,1 < 3	10	25°	10	0,15	10	METÁLICO DE INSERCIÓN	10
3 < 5	7	50°	7	0,15< 0,5	7	METÁLICO (to-46)	5
5 < 8	5	75°	5	0,5 < 0,7	5	PLÁSTICO (to-92 ; SOT-23)	1
8 < 12	3	100°	3	0,7 < 1	3		
> 12	1	>100°	1	1>	1		

Fuente: autores

Dentro de los rangos establecidos para las rubricas de evaluación de la tabla 1, se tienen tanto valor en dólares como en los rangos de operación de los sensores en grados Celsius; incluso se tiene en cuenta el material del encapsulado del sensor pensando en la exposición a la que se encontraría el elemento.

En la tabla 2 se puede observar las características de cada sensor y la calificación de los mismos, con los cuales se seleccionó el sensor PT100 debido a que su encapsulado facilita la obtención de datos en ambientes críticos, este sensor es utilizado de forma industrial lo cual permite contar con precisión en la variable escogida.

Tabla 2: Tipos de sensores de temperatura

TIPO DE SENSOR	COSTO 20%		RESOLUCIÓN 30%		PRECISIÓN 30%		ENCAPSULADO DE SENSOR 20%		TOTAL 100%
	VALOR (COP)	RUBRICA	RANGO (°C)	RUBRICA	RANGO (°C)	RUBRICA	MATERIAL	RUBRICA	
DS18S20	\$ 7.140,00	10	-55 @ 125	1	--0,5	7	PLÁSTICO to-92	1	4,6
LM35-DZ	\$ 5.831,00	7	-55 @ 150	1	--0,5	7	PLÁSTICO to-92	1	4
PT100	\$ 22.015,00	1	-200 @ 500	1	--0,15	10	CAPSULA METÁLICA DE INSERCIÓN	10	5,5
TMP100	\$ 5.950,00	3	-55 @ 125	1	--3,0	1	PLÁSTICO SOT23-6	1	1,4
LM335	\$ 3.332,00	1	-40 @ 100	3	--1	1	PLÁSTICO to-92	1	1,6
MLX90615SSG	\$ 44.625,00	1	-40 @ 115	1	--0,5	7	METÁLICO to-46	7	4
LM61BIM3	\$ 4.998,00	7	-30 @ 100	1	--3	1	PLÁSTICO sot-23	1	2,2
MTK-01	\$ 11.900,00	3	-40 @ 204	1	--2,2	1	CAPSULA METÁLICA DE INSERCIÓN	10	3,2
MTK-02	\$ 17.850,00	10	-40 @ 250	1	--1,05	1	CAPSULA METÁLICA DE INSERCIÓN	10	4,6

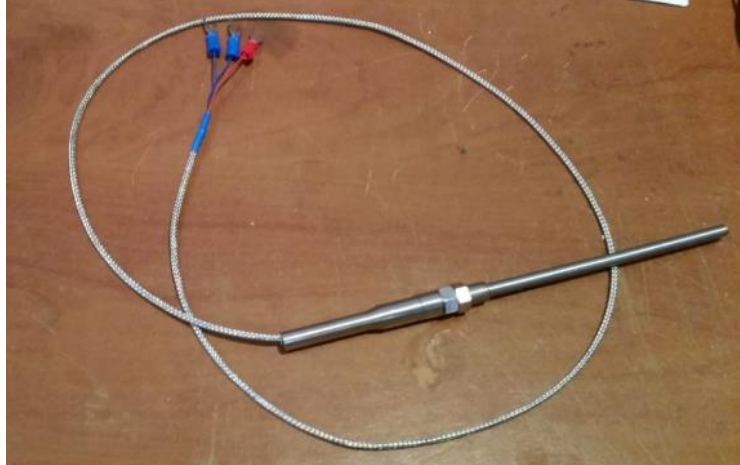
Fuente: autores

El sensor seleccionado según la tabla 2 es el PT100; es un detector de temperatura elaborado en platino, este material genera una resistencia de 100 Ω a una temperatura de 0°C²⁹, este dispositivo dispone de tecnología análoga.

²⁹ SPECTRIS COMPANY. Omega TM. [En línea] Spectris Company. 2018. <https://bit.ly/2Lihrt7> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).

Físicamente el sensor PT100 (véase figura 8); es una varilla que está hecha de platino, la cual tiene conectado un cable por donde se realiza la obtención de la resistencia, el platino una variación de la resistencia al ser expuesto a un cambio de temperatura. La longitud del sensor PT100 puede variar de acuerdo a la necesidad.

Figura 8: Sensor de Temperatura

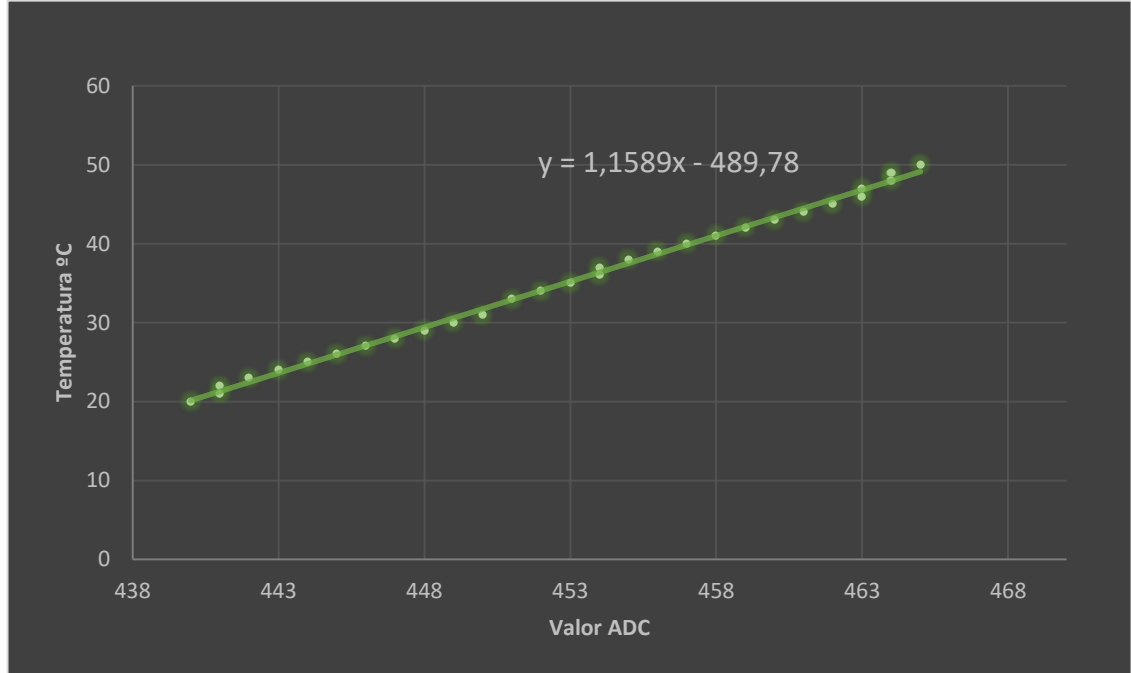


Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se tiene un sensor PT100 con 100 cm de longitud en la varilla de medición, adicionalmente cuenta con un cableado de 1 metro de longitud; este tiene un recubrimiento metálico para evitar el daño del cableado por la exposición del medio ambiente al que se encontraría el sensor.

8.1.1. Linealización de sensor de temperatura. Para determinar los rangos de operación de este sensor fue necesario realizar la linealización de la PT100, con base a un termo higrómetro el cual funciona como un elemento patrón y permite determinar la calibración del sensor, obteniendo una ecuación característica implementada en el sistema de control para obtener una lectura certera de la temperatura de la cama (véase figura 9).

Figura 9: Grafica de linealización sensor de temperatura



Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se evidencia los valores analógicos emitidos por el sensor según la temperatura obtenida por el termo higrómetro, la ecuación aparece en la gráfica es utilizada para la implementación en el código del sistema de control con el objetivo de obtener una lectura acorde a la calibración del dispositivo.

8.2 SENSOR DE HUMEDAD

Para la selección de este sensor, se deben evaluar los siguientes criterios, los cuales fueron clasificados con unas rubricas de evaluación similares a las del sensor de temperatura (véase tabla 3):

- Costo
- Resolución
- Precisión
- Sensor Capacitivo

Tabla 3: Rúbrica de evaluación para sensor de humedad

HUMEDAD							
COSTO 20%		RESOLUCIÓN 30%		PRECISIÓN 30%		CAPACITIVO 20%	
RANGO (USD)	PUNTAJE	RANGO (%)	PUNTAJE	RANGO (%)	PUNTAJE	CUMPLE	PUNTAJE
0,1 < 3	10	0 @ 100	10	0,15	10	SI	10
3 < 5	7	0 @ 80	7	0,15 < 0,5	7	NO	1
5 < 7	5	0 @ 50	5	0,5 < 0,7	5		
7 < 10	3	menor de 50	3	0,7 < 1	3		
10 < EN ADELANTE	1			1 >	1		

Fuente: autores

Como se puede observar en la tabla 3, es similar a la rúbrica de evaluación establecida para los sensores de temperatura, solo que en este se establecen los rangos correspondientes al porcentaje de humedad captada por los sensores adicionalmente se evalúa específicamente si el sensor es capacitivo o no.

Para la tabla 4 se encuentran las características de cada sensor y la calificación de los mismos según las rubricas establecidas, con los cuales se seleccionó el sensor SEN0193 ya que es el apropiado a las necesidades del trabajo de grado.

Tabla 4: Tipos de sensores de humedad

TIPO DE SENSOR	COSTO 20%		RESOLUCIÓN 30%		PRECISIÓN 30%		Sensor Capacitivo 20%		TOTAL 100%
	VALOR (COP)	RUBRICA	RANGO (RH%)	RUBRICA	VALOR (RH%)	RUBRICA	CUMPLE	RUBRICA	
HIH-4000-002	\$ 83.300,00	1	0 @ 59	5	--+0,5	7	NO	1	4
SIG-0040	\$ 5.355,00	10	0 @ 70	10	--+0,5	7	NO	1	7,3
HS1101	\$ 12.495,00	7	0 @ 100	10	--+0,5	7	NO	1	6,7
SEN0114	\$ 20.587,00	5	0 @ 100	10	--+0,5	7	NO	1	6,3
SEN0193	\$ 32.725,00	3	0 @ 100	10	--+0,5	7	SI	10	7,7

Fuente: autores

Como se puede observar en la tabla 4, el sensor más apropiado es el sensor SEN0193 ya que es un detector de humedad por inserción que funciona de forma capacitiva, está compuesto por un material resistente a la corrosión, incluye un regulador de voltaje de operación de 3.3V a 5.5V³⁰ y su costo no es tan elevado. Físicamente el sensor está compuesto por 3 conexiones las cuales son de voltaje, tierra y datos correspondiente, el circuito con el que cuenta el dispositivo no es resistente a la humedad por lo que se debe tener precaución al momento de utilizarlo (véase figura 10)

³⁰ **DFRobot**. Capacitive Soil Moisture. [En línea] Media Wiki. 25 de Mayo de 2017. <https://bit.ly/2IPVSIB> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).

Figura 10: Sensor de humedad



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 10, el sensor no tiene una longitud considerable para uso de áreas profundas, por lo que tiene un límite señalado en donde se debe colocar para la captura de la humedad, si se sobre pasa esta demarcación se puede comprometer la funcionalidad del circuito electrónico.

8.2.1. Linealización sensor de humedad. En esta tabla 5 se muestran los valores de la hoja técnica para la parametrización de cada estado que se puede obtener con el sensor de humedad.

Tabla 5: Datos de parametrización hoja técnica

TABLA DE HOJA TÉCNICA		
ESTADO	VLR. MÍNIMO	VLR. MÁXIMO
SECO	430	520
HÚMEDO	350	430
AGUA	260	350

Fuente: autores

Dentro de la tabla 5, los valores encontrados son solo los que delimitan el rango del estado del ambiente, para obtener estos valores se calculan los máximos

(agua y seco) y se determina unos rangos simétricos para los tres estados del ambiente.

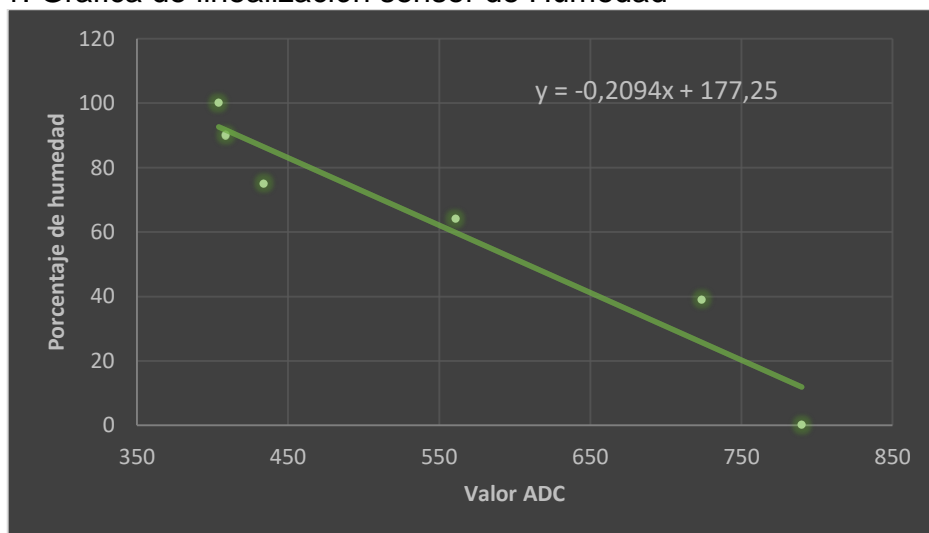
Este método de linealización del sensor de humedad es empírico puesto que no se establecen los rangos con una cantidad de muestras considerables para determinar la cantidad de humedad medida. Por lo que se realiza una linealización del sensor mediante una comparación de un higrómetro de inserción y los valores análogos obtenidos (véase tabla 6), el resultado de esta comparación se puede evidenciar en la figura 11 donde se evidencia la línea de tendencia de las mediciones y la ecuación característica.

Tabla 6: Datos Linealización sensor de humedad

SENSOR DE HUMEDAD (%)	VALOR ADC
0	790
39	724
64	561
90	409
75	434
100	404

Fuente: autores

Figura 11: Grafica de linealización sensor de Humedad



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 6, se tiene una mayor cantidad de datos obtenidos a diferencia como muestra el fabricante para determinar la linealización del sensor. Mientras que en la figura 11 se entiende que la relación es inversa a la del sensor de temperatura.

8.3 ACTUADORES

Para el cambio de la energía eléctrica generada por el controlador y la regulación de los valores suministrados por los sensores se usaron los siguientes actuadores:

8.3.1. Motobomba. Dado que la cama de humus no requiere un flujo constante de agua se implementó una motobomba que permite ser activada o desactivada de acuerdo al tiempo de uso. Se utilizó una motobomba periférica de referencia QB60 que posee medio caballo de fuerza, su velocidad nominal es de 3.500 RPM y su activación es mediante corriente AC.

Para el acople con el circuito de control se utilizó un triac BT137 que permite la activación de la motobomba y un moc3010 para la protección del circuito aislándolo de voltajes que puedan dañar el sistema.

8.3.2. Motorreductor. Dado que se requiere realiza un movimiento del humus para evitar el apelmazamiento y la concentración del ion hidrogeno, es necesario utilizar un sistema de movimiento conformado por un motorreductor DC el cual tiene una capacidad de hasta 30 Kg de fuerza. Se debe garantizar un movimiento lento el cual es obtenido por el mismo motor ya que cuenta con 6RPM.

Este motorreductor se acoplo a un sistema mecánico compuesto por 3 piñones de cadena fijados cada uno a un eje los cuales permiten el movimiento de las aspas plásticas que cumplen la función de oxigenación del humus.

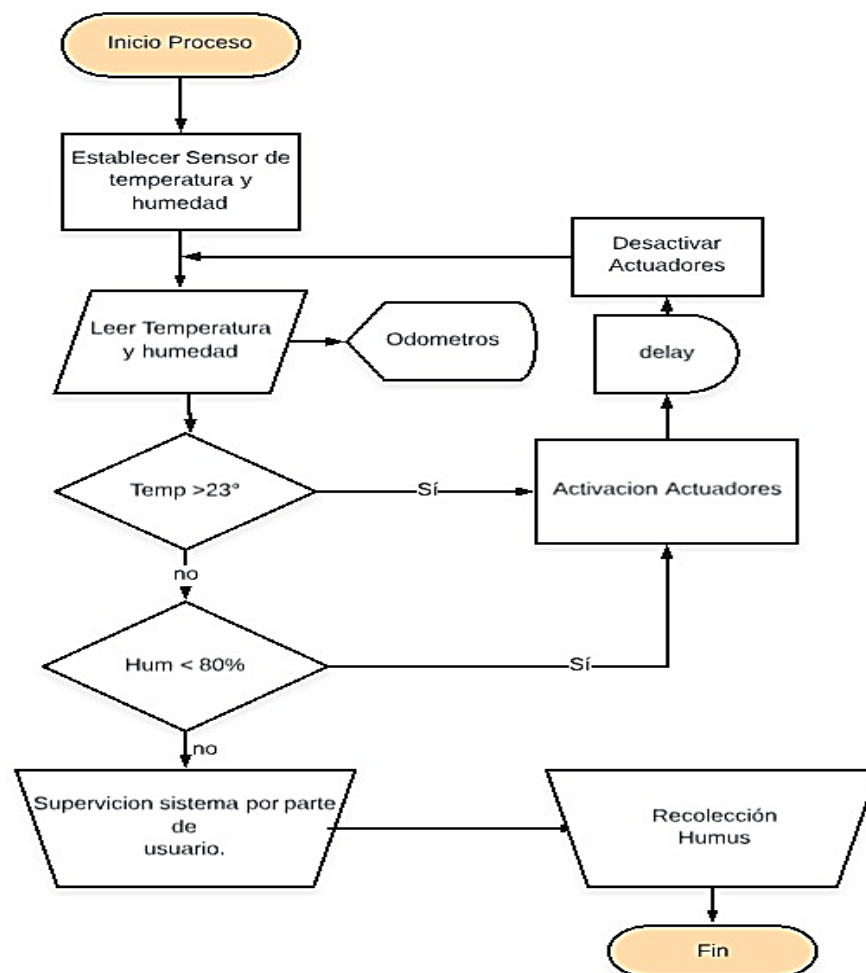
El motorreductor se encuentra energizado mediante un driver de potencia debido a que se requiere una corriente considerable para generar el movimiento. El dispositivo que realiza esta regulación recibe un pulso emitido por la raspberry pi 3 para activar el motor.

9 DISEÑO DE ALTERNATIVA DE CONTROL

Utilizando las ecuaciones características de los sensores de humedad y temperatura, se implementó un código de programación en Python para realizar la obtención de los datos por parte de la Raspberry pi 3 para poder determinar si es necesario o no activar la motobomba, el de movimiento de tierra se controla mediante un pulso emitido por el sistema embebido hacia un driver de potencia.

En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo de la lógica de programación para el proceso de automatización

Figura 12 Diagrama de flujo proceso de automatización.



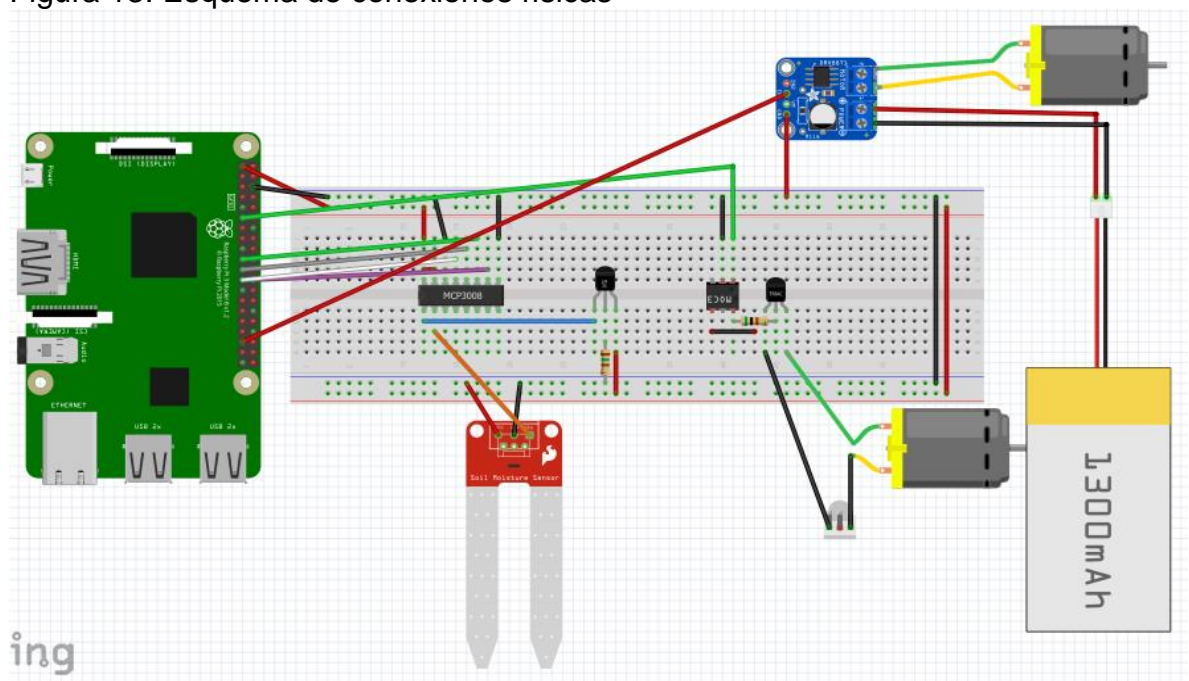
Fuente: Autores

Como se observa en la figura 12, la parte de automatización se mantiene en un ciclo constante en donde se revisa el estado de las variables de temperatura y humedad. La finalización del proceso depende de la obtención del humus.

Dentro de la programación se realizaron unas adecuaciones con un conversor ADC ya que la Raspberry pi 3 no posee la capacidad de leer información análoga por su propia cuenta.

Se realizan las conexiones de la Raspberry pi 3 con los componentes electrónicos en una protoboard de acuerdo al esquema de conexiones establecido como se muestra en la figura 13.

Figura 13: Esquema de conexiones físicas

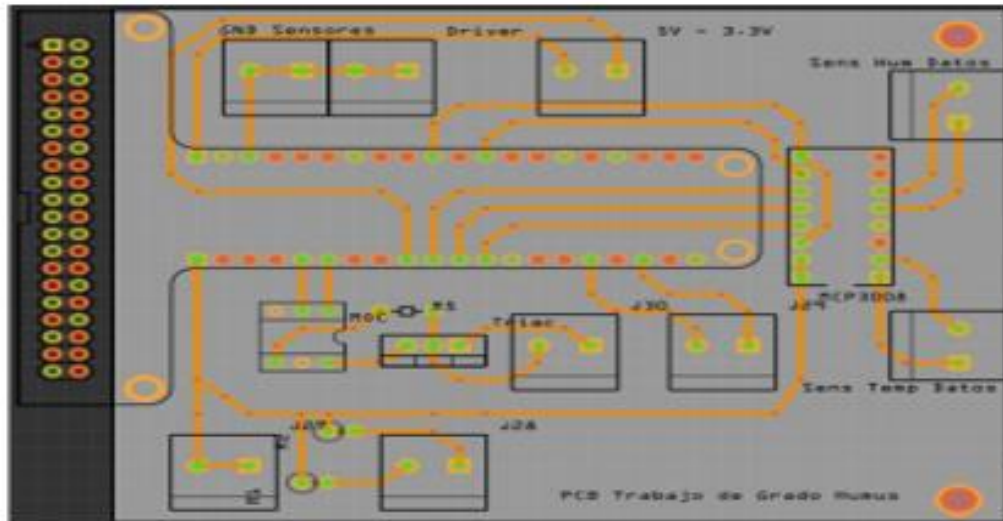


Fuente: Autores

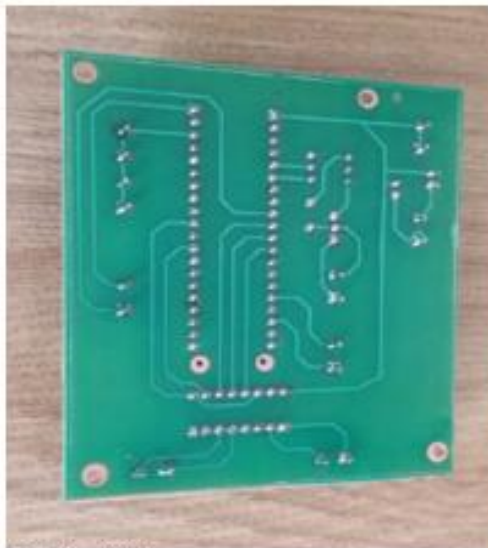
Dentro de las conexiones evidenciadas en la figura 13 se muestra el conversor ADC y el componente electrónico MOC3010 para la protección del circuito electrónico. Se realizaron simulaciones del código con la Raspberry pi 3 para determinar si se encuentra funcionando correctamente.

Una vez calibrados los sensores y mejorado la programación para su correcta operación, se procedió a diseñar un circuito impreso para implementar las pruebas finales del sistema. Se utilizó la herramienta Fritzing para diseñar los caminos del circuito impreso (véase figura 14).

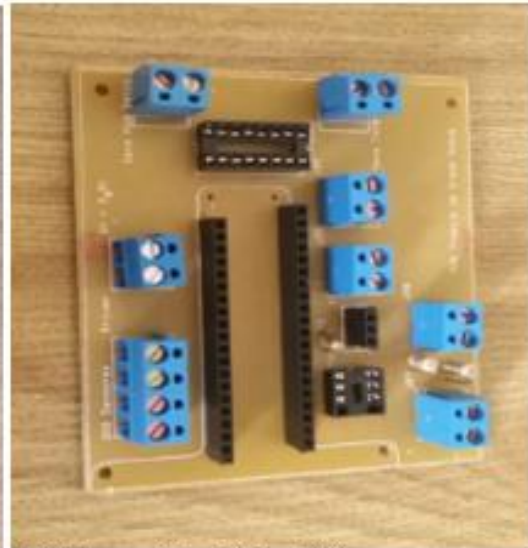
Figura 14 : Elaboración PCB A) Diseño circuito impreso; B) Caminos del circuito impreso; C) ensamblaje de conectores para componentes electrónicos.



A) diseño circuito impreso



B) Circuito impreso



C) Ensamble del circuito

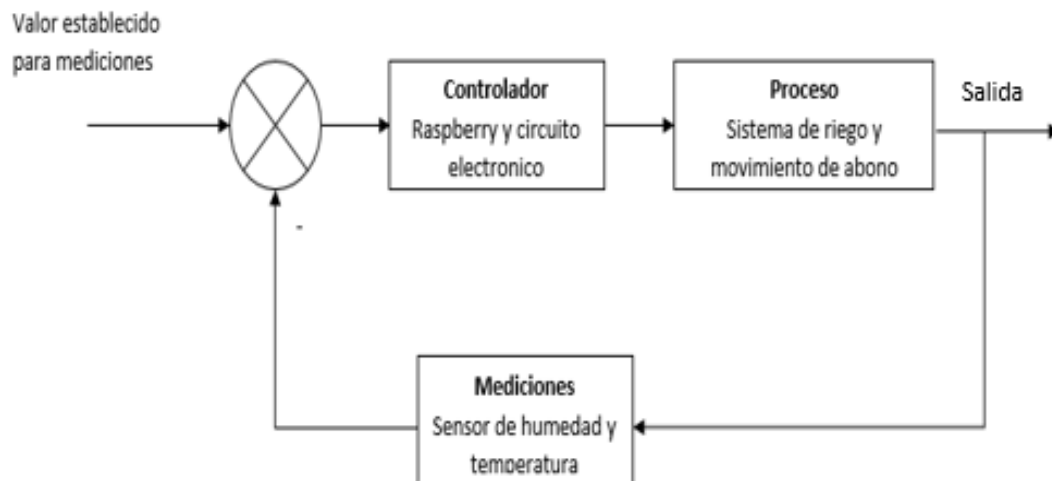
Fuente: Autores

El diseño realizado se evidencia en la figura 14.A; donde se evidencia el uso de una sola capa de caminos. Los cuales se evidencian mejor en la figura 14.B del circuito impreso. Se utilizaron borneras y sockets para facilitar el cambio de los componentes o las conexiones de los sensores o actuadores como se evidencia en la figura 14.C.

La salida del proceso está compuesta por una motobomba eléctrica que se encargó de realizar el riego necesario teniendo en cuenta las especificaciones dadas al controlador; un motor eléctrico que tuvo la función de realizar el movimiento adecuado al humus para prevenir el apelmazamiento del proceso.

Gráficamente se entiende el sistema de control como se muestra en la figura 15.

Figura 15: Diagrama de control diseñado



Fuente: Autores

El diagrama de la figura 15 trabaja como un tipo de control On – Off, en donde consistió en la comparación de los valores obtenidos por los sensores para determinar si el sistema se encontraba estable y de esta forma determinar el momento de activación de la motobomba para regular la temperatura o humedad correspondiente.

10 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para la implementación del sistema de control propuesto fue necesario construir un prototipo de cama para la producción de humus (véase figura 16)

Figura 16: Prototipo elaborado



Fuente: Elaboración Propia

El prototipo que se muestra en la figura 16, tiene 1m de largo y 50 cm de ancho donde se depositaran las lombrices y será el área de medición de las variables. Se utilizó un kilogramo de lombrices, en esta área se manejó un sensor de temperatura y un sensor de humedad los cuales fueron conectados a un conversor ADC MCP3008 con el que se establece la comunicación con la Raspberry pi 3.

La cama se realizó con láminas de triplex de 18 milímetros de grosor, se unió con un adhesivo para madera y tornillos, se refuerzan las uniones mediante unos ángulos metálicos de 90°.

Se implementa un sifón de acero galvanizado el cual permite la extracción del lixiviado, para que no existan acumulaciones de líquidos en las extremidades de la cama, la base tiene una inclinación que conduce hasta la ubicación del sifón.

Se realizaron los planos del diseño en Inventor de Autodesk para tener la información de las mediciones del prototipo (ver anexo D). Seguidamente se procede a comprar el material necesario y realizar los cortes de las láminas para poder ser ensambladas, teniendo en cuenta los desniveles y los acoples requeridos para que no se presenten filtraciones de agua y obtener el lixiviado.

Se realizó un recubrimiento del interior del prototipo con plástico negro; se procede a ensamblar el sistema de riego, el cual está compuesto por mangueras plásticas como se puede observar en la figura 17.

Figura 17: Ajuste de mangueras para el sistema de riego



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 17, las mangueras del sistema de riego se encuentran en los costados del prototipo, se realizaron unos orificios pequeños en todo el trayecto de las mangueras con el objetivo de cubrir toda el área de la cama de humus; adicionalmente se observa en la figura tres ejes horizontales los cuales hacen parte del sistema mecánico. Se adecuó una reja plástica para que cumpla las funciones de aspa con la cual realizara el movimiento de los desechos y la tierra; este material fue escogido ya que al tener orificios facilita la fricción que se ejerce con la tierra aun cuando se encuentra húmeda, al mismo tiempo mitiga daños en la estructura de las lombrices.

Se procedió a realizar la implementación de la parte mecánica, en la figura 18 se observa el sistema para el movimiento de las aspas el cual está compuesto por un motor reductor DC con caja reductora, tres (03) piñones de veinte (20) dientes y un (01) piñón de cinco (05) dientes, con el cual se crea una relación de fuerza y mejorar la tracción ejercida en las aspas.

Figura 18: Sistema mecánico para el movimiento de las aspas



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 18 no se tiene una altura simétrica entre los tres ejes de las aspas por lo que fue necesario invertir el movimiento del eje central para que existiera una tensión en la cadena y poder que el sistema funcione correctamente. En la parte posterior del prototipo se adecuó la motobomba para el sistema de riego (véase figura 19)

Figura 19: Adecuación Motobomba



Fuente: Elaboración Propia

La motobomba se adecuó en la parte posterior de la cama, instalando una tabla entre las dos patas traseras como se visualiza en la figura 19. De esta forma mejora su estabilidad, seguidamente se realizan las conexiones con la motobomba. para realizar la succión y el riego correspondiente.

Se realiza la instalación de un bidón de líquido en el desagüe para la recolección del lixiviado como se ve en la figura 18. Posterior a la implementación de la cama se procedió a suministrar la tierra y las lombrices para iniciar la producción de humus, utilizando el sistema electrónico implementado en esta cama.

11 INTERFAZ GRÁFICA DE SUPERVISIÓN

Este trabajo de grado cuenta con una interfaz web capaz de mostrar en un navegador de internet (Google Chrome, Firefox, etc) los datos recolectados por los sensores de temperatura y humedad interna del prototipo, gracias a la implementación de este sistema web es posible realizar un seguimiento del estado en el que se encuentra este dispositivo internamente, la visualización de alertas en caso de alta temperatura, baja humedad, entre otros (véase figura 20).

Figura 20: Interfaz Web



Fuente: Elaboración Propia

Para obtener la interfaz web como se evidencia en la figura 20, se hizo uso de las herramientas HTML5, CSS3, BOOTSTRAP, herramientas empleadas para la creación de sitios web y su correspondiente diseño visual. Adicionalmente para obtener la información de los sensores y llevarla a la interfaz, fue necesario utilizar el lenguaje de programación Javascript, el framework JQuery y AJAX para realizar las diferentes solicitudes al código desarrollado en Python, de donde se obtuvo la información de temperatura y humedad.

Para el correcto funcionamiento de la interfaz web, se instaló en la Raspberry pi 3 el servidor web apache2 (mediante el comando `sudo su apt-get install apache2`), el cual se usa principalmente en sistemas Linux (como lo es raspbian).

Una vez instalado el servidor web apache2 se crea automáticamente en el sistema la ruta `"/var/www/html/"`, en la cual se deben crear los archivos `.html` y `js` que en conjunto construyen la interfaz web.

Dentro de la ruta anteriormente mencionada se creó la carpeta `"project_culti"`, donde igualmente fueron creados los archivos `"index.html"` (donde se encuentra el código en html que permitirá la visualización de la interfaz web), las carpetas `"css"` (almacena los archivos de estilos para la interfaz) y `"js"` (contiene los archivos Javascript necesarios para la comunicación con el código en python).

A continuación, se describe el funcionamiento de los archivos:

- `Index.html`
Contiene la estructura que distribuye la información en las diferentes secciones de la pantalla, aquí se genera un llamado a los archivos `css` y `js` para agregar los estilos visuales de la interfaz y permitir la realización de solicitudes tipo Ajax para recuperar la información de los sensores.
- `css/style.css`
Contiene los códigos que determinan los colores, tipos de letras, imágenes o videos de background que contiene la interfaz para hacer más agradable su visualización.
- `Js/main.js`
Contiene el código en javascript necesario para creación de los tacómetros que medirán la temperatura y humedad, para este proceso fue necesario la implementación de la herramienta Google visualización, en la cual es posible la creación y administración de estos tacómetros, mediante

diferentes parámetros es posible determinar el rango de valores en los cuales se debe mover el tacómetro y los colores que permiten determinar los diferentes estados del sistema y una función que se ejecuta para actualizar los valores de cada tacómetro.

De igual manera en este archivo se crean las peticiones Ajax que se ejecutan cada 3 segundos, en las cuales se realiza una petición mediante el protocolo http con el método GET, al código desarrollado en Python enviando como parámetro de la petición el tipo de consulta que se quiere realizar (“temp” para la temperatura y “hum” para la humedad), con la respuesta recibida se toma el valor de respuesta y se actualizan los tacómetros.

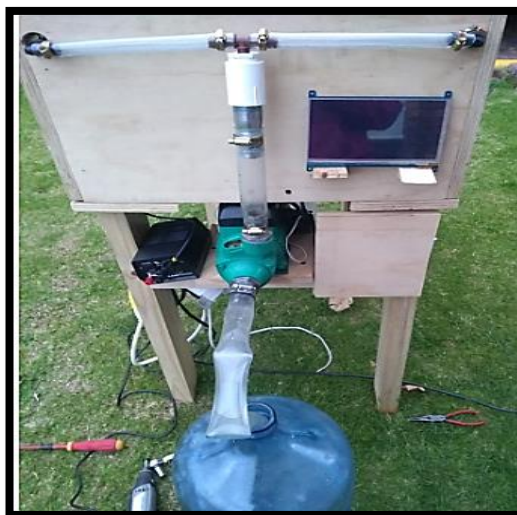
El archivo desarrollado en Python requiere de la Librería Flask para poder abrir un puerto de escucha en la Raspberry pi 3 (por defecto el 5000), determinar las rutas de cada petición y devolver el resultado.

Gracias a la implementación de la interfaz en una plataforma web, es posible aumentar la disponibilidad de control del sistema, gracias a que, en el despliegue, será posible visualizar la información del prototipo desde cualquier dispositivo que se encuentre en la misma red de área local únicamente con la IP de la Raspberry pi 3.

12 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la realización del sistema automático para producción de humus se presentaron novedades para las cuales en su momento fue necesario realizar cambios, hubo falencias en el sistema de riego, en el movimiento mecánico de las aspas y la reproducción de las lombrices.

- Sistema de riego: para el funcionamiento del sistema de riego en la cama de producción de humus fue necesario utilizar una motobomba de medio caballo de fuerza, inicialmente se adecuó el prototipo de manera que la motobomba succionara el agua y por medio de mangueras realizara la distribución de la misma en la cama, al momento de realizar la prueba la motobomba no realizó el proceso de la manera esperada debido a la posición que se tenía entre la motobomba y el tanque de agua (véase figura 21), por esta razón no realizó el proceso de succión si el canal de la manguera no tenía agua.
- Figura 21: Sistema Inicial para riego



- Fuente: Elaboración Propia

Para solucionar esto fue necesario ajustar el recipiente portador de agua a nivel de la motobomba garantizando que el conducto siempre tuviese agua para la activación y succión con la señal de la Raspberry pi 3 como se muestra en la figura 22.

Figura 22: Sistema Funcional



Fuente: Elaboración Propia

- Movimiento mecánico de las aspas: inicialmente se planteó utilizar unas poleas dentadas plásticas con un motor DC sencillo esto generó afectación en el sistema puesto que no contaba con la rigidez necesaria, los dientes de la correa no efectuaban ningún movimiento lo cual afectaba el prototipo porque generaría apelmazamiento de la tierra y no habría oxigenación en el ecosistema (véase figura 23)

Figura 23: Sistema inicial mecánico



Fuente: Elaboración Propia

Se implementó un sistema más robusto utilizando un motor DC con una caja reductora de 6rpm y torque de 30Kg, rodamientos en acero, piñonera (25 - Distancia entre piñones, B - tipo; 20 - cantidad de dientes) y cadena tipo industrial de calibre 25 como se muestra en la figura 24.

Figura 24: Sistema mecánico funcional



Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las pruebas con el sistema de la figura 24 en la cama de producción se evidenció que cumplió con las expectativas para efectuar el movimiento de las aspas.

- Reproducción de las lombrices: debido a los inconvenientes presentados al momento de elaborar el prototipo se superó el tiempo estimado de ejecución, motivo por el cual no se logró evidenciar un crecimiento exponencial en la reproducción de las lombrices, sin embargo si se evidencia que el prototipo cumple con las necesidades principales como lo es la supervivencia del ecosistema garantizando que las variables implicadas en el proceso de producción de humus como temperatura y humedad fueron monitoreadas y controladas según el propósito inicial.

Para iniciar el proceso de producción de humus fue necesario contar con una materia prima como lo es tierra, lombrices y desechos orgánicos esta capa se compone por tres capas distribuidas de en una capa de 4Kg tierra abonada con cascara de huevo y cascara de arroz, 1Kg lombriz roja californiana una capa gruesa de desechos orgánicos.

13 CONCLUSIONES

La instrumentación utilizada en el prototipo fue seleccionada bajo las necesidades y requerimientos del ecosistema a través de las rubricas de evaluación mencionadas, garantizando que estos cumplan con un rango de temperatura que oscila entre 14°C y 27°C y una humedad entre el 70% y 80%.

Se diseñó una alternativa de control por medio de Python que consistió en la comparación de las variables existentes, donde el actuador del sistema se activa frente al cambio de alguna de las variables presentes teniendo en cuenta los parámetros de temperatura y humedad requeridos.

La implementación del sistema de control On – Off, se llevó a cabo exitosamente logrando una salida del sistema de forma deseada, sin embargo, el método utilizado solo controló el alto nivel de temperatura y la baja humedad de la tierra por lo que no se implementó un sistema que pueda regular el exceso de humedad o las bajas temperaturas que se presentan en el área de producción.

Se diseñó e implemento una interfaz gráfica a través de una página web por medio de la Raspberry pi 3, en la cual se visualiza el estado de la temperatura y humedad en tiempo real generando al agricultor una supervisión constante de la cama de producción, esta interfaz es de fácil entendimiento para quien realiza el proceso de producción.

14 TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros a través de la tecnología IoT se puede implementar un monitoreo de forma inalámbrica el cual genere alertas a través de mensajes al agricultor, de igual forma se puede proponer un sistema de control para los estados opuestos de las variables controladas; no se contempló la supervisión del pH por lo que se puede analizar alternativas de supervisión para esta característica del humus y lograr mejorar la precisión de activación del movimiento de las aspas.

REFERENCIAS

- AGUDELO, Jaime Eduardo, Geusep ORTEGA, y Melissa RUIZ. *Biología del Suelo*. 22 de Agosto de 2014. <https://bit.ly/2QTNOnb> (último acceso: 28 de Octubre de 2018).
- BARRERA RESTREPO, Alexis Fernando. «Lombricultura, experiencia, emprendimiento y proyección. En: Memorias del programa científico Universidad 2010.» (Editorial Universitaria) 2010.
- BLANCO PEREZ, Carlos Ernesto, y Noé David LINARES BRIZUELA. «Evaluación de tres tiempos de compostaje de residuos vegetales.» El salvador, 2015.
- CANTU, Luisa. «Entre taza y taza/ Cultivo ecologico de cafe.» (Editora el Sol) 1, nº 1 (2001).
- CARACOL TV. *La finca de hoy*. caracol TV. 16 de 03 de 2017. <https://bit.ly/2BbpgvH> (último acceso: 10 de 03 de 2018).
- COCOON HUMUS. *cocoon fertilidad en tu tierra* . S.F. <https://bit.ly/2O9purN> (último acceso: 25 de Octubre de 2018).
- CORONA RAMIREZ, Leonel German, Griselda ABARCA JIMENEZ, y Jesus MARES CARREÑO. «6.9 Sensor de Humedad.» En *Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*, de Leonel German CORONA RAMIREZ, Griselda ABARCA JIMENEZ y Jesus MARES CARREÑO. Mexico D.F: Grupo Editorial Patria, 2014.
- CORONA RAMIREZ, Leonel German, Griselda ABARCA JIMENEZ, y Jesus MARES CARREÑO. «Actuadores.» En *Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*, de German Leonel CORONA RAMIREZ, Griselda ABARCA JIMENEZ y Jesus MARES CARREÑO. Mexico D.F.: Grupo Editorial Patria, 2014.

CORONA RAMIREZ, Leonel German, Griselda ABARCA JIMENEZ, y Jesus MARES CARREÑO. «Servomotores.» En *Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*, de Leonel German Corona Ramirez, Griselda Abarca Jimenez y Jesus Mares Carreño. Mexico D.F.: Grupo Editorial la Patria, 2014.

CORONA RAMIREZ, Leonel German, Griselda S ABARCA JIMENEZ, y Jesus MARES CARREÑO. «9.3 Sensores de pH.» En *Sensores y actuadores: aplicaciones con arduino*, de Leonel German CORONA RAMIREZ, Griselda S ABARCA JIMENEZ y Jesus MARES CARREÑO. Mexico D.F: Grupo Editorial Patriax, 2014.

DFRobot. *Capacitive Soil Moisture*. Media Wiki. 25 de Mayo de 2017. <https://bit.ly/2IPVSIB> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).

Diario ABC, S.L. *ABC TECNOLOGIA*. 21 de 07 de 2013. <https://bit.ly/2Eoqyrj> (último acceso: 30 de 09 de 2018).

EDITORIAL MI PATENTE. «Mi patente.» 24 de Julio de 2017. <https://bit.ly/2PzPwFo> (último acceso: 18 de Marzo de 2018).

Editorial Universitaria. «La Lombriz de tierra.» En *Lombricultura: desarrollo sostenible*, 16. La Habana: Editorial Universitaria, 2007.

GARCIA ADAME, Raúl Ignacio. *Diseño y construcción de un equipo automatico para la obtencion de humus de lombriz. Trabajo de grado. Ingeniero Mecatronico. Facultad de Ingeniería*. Colima: Instituto tecnologico de colima, 2015.

GARCIA CONDE, Mary Ruth . *Manual cría de la lombriz de tierra: una alternativa ecológica y rentable*. Bogota: Editorial San Pablo, 2005.

HUETE, Juan Ramon, y Federico RODRIGUEZ. «Producción de plántulas y humus.» En *Prácticas para el cultivo de huertos familiares*, de Juan Ramon HUETE y Federico RODRIGUEZ, 12. Honduras: Comunica, 2011.

IBAÑEZ, Juan José. *Un Universo invisible bajo nuestros pies*. Fundacion para el Conocimiento madrid. 18 de Agosto de 2006. <https://bit.ly/2zTdarc> (último acceso: 14 de Octubre de 2018).

LA ROSA, Doris, y Martin VARGAS TRUJILLO. *Laboratorio de Quimica*. s.f. <https://bit.ly/2rwksN1> (último acceso: 02 de 09 de 2018).

Motorola. «All datasheet.» *MOC3010 Datasheet (PDF)*. MOTOROLA. s.f. <https://bit.ly/2EcL8dg> (último acceso: 25 de 09 de 2018).

MULET DEL POZO, Yanelly, Maximino DIAZ ALVAREZ, y Eneida VILCHES LEON. «Determinacion de algunas propiedades fisico-mecanicas, quimicas y biologicas del humus de lombriz en condiciones de la vaqueria de la finca Guayabal, San Jose de las Lajas, La Habana, Cuba.» *Ciencias Tecnicas Agropecuarias* (Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias) XVII, nº 1 (2008): 5.

MUÑOZ HERNANDEZ, Jose Aldemar, Luis Alfonso MUÑOZ HERNANDEZ, y Carlos Antonio RIVERA BARRERO. «1.5 Sistema de control de lazo cerrado.» En *Control Automatico I: Estrategias de control clasico*, de Jose Aldemar Muñoz Hernandez, Luis Alfonso Muñoz Hernandez y Carlos Antonio Rivera Barrero, 204. Ibagué: Sello Editorial Universidad del Tolima, 2014.

POPOCA CASTRO, Martiniano. *Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. Agricultura Técnica en México Vol. 34 Núm. 4, 2008*. Mexico D.F: Red Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2008.

RADARCAN. «Jardineria Ferromar.» 2017. <https://bit.ly/2RMuhC6> (último acceso: 16 de 03 de 2018).

RASPBERRY PI. *Raspberrypi*. s.f. <https://bit.ly/1MGdg5H> (último acceso: 17 de 09 de 2018).

Real Academia Española. *RAE*. 2018. <https://bit.ly/2zVINAN> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).

- SCHULDT, Miguel. «Capacidad de Porte (Numero de lombrices por superficie/volumen) en distintos sustratos.» En *Lombricultura: Teoría y practica*, de Miguel Schuldt, 310. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.
- SCHULDT, Miguel. «Factores Limitantes para el desarrollo de cultivos E. Fetida.» En *Lombricultivo, practica y teoria*, de Miguel SCHULDT, 310. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.
- SCHULDT, Miguel. «Lombricultura: insercion en diversas practicas.» En *Lombricultura: teoria y practica*, de Miguel SCHULDT, 310. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.
- SCIENCE LEARNING HUB. *Earthworm niche groupings*. 12 de Junio de 2012. <https://bit.ly/2z6BYer> (último acceso: 28 de Octubre de 2018).
- SOMBARILLA REYES, Ricardo José, y Fidel GUZMAN GUILLÉN. *Guia de lombricultura*. Vol. IV. Managua: Universidad Nacional Agraria, 2004.
- SPECTRIS COMPANY. *Omega TM*. Spectris Company. 2018. <https://bit.ly/2Lihrt7> (último acceso: 13 de Octubre de 2018).
- UNIVERSIDAD DE PIURA. «Lógica difusa y sistemas de control.» s.f. <https://bit.ly/2QopKt0> (último acceso: 18 de 09 de 2018).
- Vermi Tronics. *Youtube*. Vermi Tronics. 02 de Noviembre de 2017. <https://bit.ly/2UzkFfL> (último acceso: 18 de Marzo de 2018).
- Y, Xavier Tenecela. «Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y.» *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y*. Universidad de Cuenca. 2012. <https://bit.ly/2RjNmuG> (último acceso: 20 de Octubre de 2018).

ANEXOS

Anexo A: Código sensores

```
import spidev
import time
import RPi.GPIO as GPIO

Valor_Temp = 0
Valor_Hum = 0 #valor inicial Hum
delay = 3 #retardo general
time_motobomba = 10 #retardo de activacion motobomba
ch_T1 = 0 # canal de sensor de temperatura
ch_H1 = 4 # canal de sensor de humedad
motor = 19 # puerto de pulso para driver de motor la salida es constante, aunque
puede ser con un pulso de 3.3V
motor2 = 6 #puerto 2 de pulso para driver de motor para la salida constante en
sentido opuesto
motobomba = 17 #puerto de motobomba para salida

# Leer informacion
def readadc(canal, spi):
    if canal > 7 or canal < 0:
        return -1
    r = spi.xfer2([1, 8 + canal << 4, 0])
    dato = ((r[1] & 3) << 8) + r[2]
    return dato

def act_spi():
    spi = spidev.SpiDev()
    spi.open(0, 0) # Activacion de comunicacion con el modulo MCP ubicado como
dispositivo 0
    spi.max_speed_hz = 10000 # Velocidad de sincronizacion que esta en 10kHz
    return spi

def get_Temp():
    global Temp
    return int(Temp)

def get_Hum():
    global Hum
    return int(Hum)

def ConvertTemp (data,places):
    temp = (1.1589*data)-489.78
    temp = round(temp,places)
```

```

    return temp

def ConvertHum (data,places):
    hum = (-0.2094 * data) + 177.25
    hum = round(hum,places)
    return hum

# Ejecucion de funciones
def main():
    global Temp, Hum
    delay = 0.25
    ch_T = 0
    ch_H = 4
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    GPIO.setup(motor, GPIO.OUT)
    GPIO.setup(motobomba, GPIO.OUT)

    spi = act_spi()

    while True:
        Valor_Temp = readadc(ch_T, spi)
        Temp = ConvertTemp(Valor_Temp, 2) # realiza la conversion a valor de °C
        #time.sleep(delay)
        Valor_Hum = readadc(ch_H, spi)
        Hum = ConvertHum(Valor_Hum, 2) # Entrega el valor en %
        #time.sleep(delay)
        print("temperatura: {}".format(Temp))
        print("Humedad: {}".format(Hum))
        #time.sleep(delay)
        while Temp <= 24 and Hum >= 80:
            GPIO.output(motor, GPIO.HIGH) # enciende la motobomba
            GPIO.output(motobomba, GPIO.LOW)
            time.sleep(delay)
            Valor_Temp = readadc(ch_T,spi) # lee la informacion analoga para sensor
Temp
            Temp = ConvertTemp(Valor_Temp, 2) # realiza la conversion a valor de
°C
            time.sleep(delay)
            Valor_Hum = readadc(ch_H,spi) # lee la informacion analoga para sensor
Hum
            Hum = ConvertHum(Valor_Hum, 2) # Entrega el valor en %
            time.sleep(delay)

        print("temperatura total: {}".format(Temp))
        print("Humedad relativa : {}".format(Hum))

```

```

time.sleep(delay)

while Hum < 80:
    print("Humedad muy baja")
    GPIO.output(motobomba, GPIO.HIGH)
    time.sleep(delay)
    GPIO.output(motobomba, GPIO.LOW)
    time.sleep(delay)
    Valor_Hum = readadc(ch_H,spi) # lee la informacion analogica para sensor
Hum
    Hum = ConvertHum(Valor_Hum, 2) # Entrega el valor en %
    print("Humedad relativa : {}".format(Hum))
    time.sleep(delay)
    # time.sleep(motobombaT)
    # GPIO.output(motobomba, GPIO.LOW)
while Temp > 24:
    print("Temperatura muy alta")
    GPIO.output(motobomba, GPIO.HIGH)
    time.sleep(delay)
    GPIO.output(motobomba, GPIO.LOW)
    Valor_Temp = readadc(ch_T,spi) # lee la informacion analogica para sensor
Temp
    Temp = ConvertTemp(Valor_Temp, 2) # realiza la conversion a valor de
°C
    print("temperatura total: {}".format(Temp))
    time.sleep(delay)
    # time.sleep(motobombaT)
    # GPIO.output(motobomba, GPIO.LOW)
GPIO.cleanup()

```


Anexo B: Código página web principal

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <title>control de humus</title>
  <meta charset="UTF-8">
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/style.css">
  <link rel="stylesheet" href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/twitter-
bootstrap/4.1.3/css/bootstrap.min.css" />
</head>
<body>
  <div class="overlay"></div>
  <video playsinline="playsinline" autoplay="autoplay" muted="muted" loop="loop">
    <source src="https://storage.googleapis.com/coverr-main/mp4/Mt_Baker.mp4"
type="video/mp4">
  </video>
  <div class="row h-25 p-3">
    <div class="col-sm-3 col-md-3 col-lg-3 rounded" style="background-color:
rgba(255, 255, 255, 0.5);">
      
    </div>
    <div class="col-sm-3 col-md-3 col-lg-3"></div>
    <div class="col-sm-6 col-md-6 col-lg-6 rounded my-auto w-100 h-100 p-3"
style="background-color: rgba(255, 255, 255, 0.5);">
      <span class="h4 text-info h-100 w-100 text-center">Sistema Automático de
control de Humus</span>
    </div>
  </div>
  <div class="row h-50 p-3">
    <div class="container h-100 align-middle">
      <div class="h-100 align-middle">
        <div class="d-flex text-center h-100">
          <div class="my-auto w-100 text-white rounded" style="background-color:
rgba(255, 255, 255, 0.5);">
            <div class="tab-content" id="myTabContent">
              <div class="tab-pane fade show active justify-content-center" id="flight"
role="tabpanel" aria-labelledby="flight-tab">
                <div class="div-wrap">
                  <div class="row">
                    <div class="col-lg-6 col-md-6">
                      <div class="chart d-flex justify-content-center"
id="chart_div1"></div>
```


Anexo C: Condigo control de odómetros

```
google.charts.load('current', {'packages':['gauge']});
google.charts.setOnLoadCallback(drawChartTemp);
google.charts.setOnLoadCallback(drawChartWeather);

function getTemp(){
  return $.ajax({
    url: 'http://localhost:5000/data',
    type: 'GET',
    dataType: 'json',
    data: {"type":"temp"}
  })
}
function getWeather(){
  return $.ajax({
    url: 'http://localhost:5000/data',
    type: 'GET',
    dataType: 'json',
    data: {"type":"hum"}
  })
}
function drawChartTemp() {
  var data = google.visualization.arrayToDataTable([
    ['Label', 'Value'],
    ['Temperatura', 0]
  ]);
  console.log($("#chart_div1").width()+" "+$("#chart_div1").height());
  var options = {
    width: ($("#chart_div1").width())/2, height: ($("#chart_div1").width())/2,
    redFrom: 450, redTo: 500,
    yellowFrom: 375, yellowTo: 450,
    minorTicks: 5, max: 500
  };
  var chart = new
google.visualization.Gauge(document.getElementById('chart_div1'));
  chart.draw(data, options);
  setInterval(function() {
    getTemp().done(function(response){
      data.setValue(0, 1, response["data"]);
      chart.draw(data, options);
    }).fail(function(response){
      console.log(response);
    })
  })
}
```

```

    },3000);
}
function drawChartWeather() {
    var data = google.visualization.arrayToDataTable([
        ['Label', 'Value'],
        ['Humedad', 0]
    ]);
    console.log("aaa");
    console.log($("#chart_div2").width()+" "+$("#chart_div2").height());
    var options = {
        width:($("#chart_div2").width())/2,height:($("#chart_div2").width())/2,
        redFrom: 450, redTo: 500,
        yellowFrom:375, yellowTo: 450,
        minorTicks: 5, max:500
    };
    var chart = new
google.visualization.Gauge(document.getElementById('chart_div2'));
    chart.draw(data, options);
    setInterval(function() {
        getWeather().done(function(response){

d0{_____
_____ata.setValue(0, 1,
response["data"]);
        chart.draw(data, options);
    }).fail(function(response){
        console.log(response);
    })
    },3000);
}

```

Anexo D: planos del diseño en Inventor de Autodesk

